

水利工程技术中的防水堵漏技术

王锦锦

山东省水利工程局有限公司 山东 济南 250000

摘要：水利工程中，渗漏问题影响工程安全与效益。本文剖析坝体、坝基、输水建筑物等常见渗漏部位及成因，阐述表面处理、结构内部加固、特殊部位防水技术体系。探讨技术选型依据与实施要点，介绍新型防水堵漏材料、智能化施工技术及绿色防水堵漏理念等发展趋势。为水利工程防水堵漏提供全面技术参考，助力提升工程防水质量与长期稳定性。

关键词：水利工程；防水堵漏技术；渗漏成因；技术选型；发展趋势

引言：水利工程关乎国计民生，防水堵漏是保障工程安全运行的关键环节。渗漏问题不仅影响工程效益，还可能引发安全事故。当前水利工程规模不断扩大、结构日益复杂，渗漏成因多样，传统防水堵漏技术面临挑战。深入研究防水堵漏技术，剖析渗漏成因，构建完善技术体系，紧跟发展趋势，对提升水利工程防水性能、保障工程长期稳定运行意义重大。

1 水利工程常见渗漏部位及成因剖析

1.1 坝体渗漏

土石坝渗漏问题多源于材料与施工缺陷。填筑材料质量不达标是首要因素，若土料含泥量过高或级配不良，

易形成渗透通道^[1]。压实度不足导致孔隙率偏大，在长期水压力作用下，细颗粒逐渐流失，最终引发管涌或集中渗漏，如图1所示。坝体与两岸连接部位若未进行妥善处理，如未设置截水槽或反滤层，岸坡水流可能沿接触面渗入坝体，形成绕坝渗漏路径。混凝土坝渗漏则与材料性能劣化及结构损伤密切相关。混凝土裂缝是直接诱因，温度应力、收缩变形或地基不均匀沉降均可能引发裂缝扩展。当裂缝宽度超过防渗标准时，水流将穿透坝体形成渗漏通道。混凝土抗渗性能下降多由内部缺陷导致，如骨料界面过渡区薄弱、水泥石孔隙率过高或碱骨料反应引发的膨胀开裂，均会降低结构密实度，为水分渗透提供条件。



图1

1.2 坝基渗漏

坝基岩体透水性强主要与地质构造特征相关。节理裂隙发育的岩体中，裂隙宽度与连通性直接影响渗透系数，张开型裂隙或溶蚀裂隙易形成优势渗流路径。在漫长的地质演化过程中，岩体受到构造运动的反复作用，裂隙会不断延伸、交汇，形成复杂的渗流网络；同时，库水的长期浸泡会软化岩体裂隙壁的充填物，降低其抗渗能力，导致渗漏量逐渐增大。断层破碎带作为地质薄

弱面，往往填充有松散碎屑或黏性土，在库水压力作用下可能发生渗透变形，导致渗漏量骤增。覆盖层渗漏问题与地层结构稳定性密切相关。覆盖层厚度不均会导致坝基应力分布失衡，局部应力集中可能破坏防渗帷幕。而且，覆盖层中若存在透镜体状的透水层，会使渗流路径发生偏转，形成隐蔽的集中渗漏通道；另外，施工时对覆盖层的清理不彻底，残留的软弱夹层会成为渗流薄弱环节，在水压力作用下易发生渗透破坏，加剧坝基渗

漏风险。颗粒级配不良的覆盖层中，细颗粒含量过低时，粗颗粒间孔隙无法被有效填充，形成连通孔隙网络，为水流渗透提供通道。

1.3 输水建筑物渗漏

输水隧洞渗漏多因衬砌结构损伤引发。衬砌混凝土裂缝的产生与温度收缩、围岩压力变化或施工质量缺陷相关，裂缝扩展后形成渗流通道。隧洞开挖过程中若围岩支护不及时，会导致围岩变形挤压衬砌结构，使衬砌产生不均匀受力而开裂；运行期间隧洞内水流的流速变化、水压波动，会对衬砌裂缝产生反复冲刷和冲击，加速裂缝扩展，增大渗漏程度。围岩压力导致衬砌变形破坏时，结构整体性受损，接缝处易出现错台或张开，加剧渗漏问题。渠道渗漏主要与衬砌板完整性及基础稳定性有关。衬砌板裂缝与破损多由温度应力、冻胀作用或外力冲击导致，裂缝宽度超过允许值时，水流将直接渗入渠道基础。在季节性冻土地区，冬季土壤冻胀会顶推衬砌板，春季解冻后土壤沉降，易导致衬砌板出现断裂和空鼓；此外，渠道周边的植被根系生长可能穿透衬砌板，形成细小渗漏通道，长期水流渗透还会带走基础土体颗粒，加剧衬砌结构的破坏。基础沉降不均会引发衬砌板断裂或接缝脱开，形成集中渗漏点，长期作用可能导致渠道输水能力下降甚至失稳。

2 水利工程防水堵漏技术体系

2.1 表面处理防水技术

涂层防水通过在结构表面形成连续致密膜层实现阻水功能。聚氨酯涂料以柔韧性好、附着力强著称，适用于变形较大的部位；丙烯酸涂料则以耐候性突出、施工便捷见长，常用于暴露环境下的防水工程^[2]。施工时需严格把控基层处理质量，清除浮尘与油污后，采用交叉涂刷法分两至三遍完成，每遍涂刷方向垂直，总厚度控制在1.5至2.0毫米之间，确保涂层无针孔缺陷。卷材防水依赖卷材自身不透水性与搭接密封性构建防渗层。高分子卷材因拉伸强度高、耐老化性能优异，适用于长期浸水环境；沥青基卷材则以成本较低、施工工艺成熟为优势，多用于临时或辅助防水工程。铺贴前需对基层进行找平处理，卷材铺贴方向应与水流方向一致，搭接宽度不小于100毫米，采用热熔法或冷粘法完成接缝密封，转角部位需增设附加层以增强抗裂能力。

2.2 结构内部加固防水技术

混凝土结构自防水增强需从材料设计与施工控制双维度入手。通过降低水胶比至0.45以下，减少混凝土内部孔隙率；掺入硅灰或粉煤灰等活性掺合料，细化孔隙结构并提高抗渗等级。添加有机硅类防水剂可改善混凝土

毛细孔壁憎水性，使水分难以渗透。浇筑过程中采用分层振捣工艺，每层厚度不超过300毫米，确保振捣密实无死角。养护阶段需保持表面湿润至少14天，避免早期失水导致收缩裂缝。注浆堵漏技术通过向渗漏通道注入浆液实现结构补强与封堵。水泥基浆液成本低、结石体强度高，适用于大孔隙或动水环境；化学浆液粘度低、可灌性好，能深入微细裂缝实现深度封堵。施工时先按渗漏范围布置注浆孔，孔距控制在0.5至1.0米之间，安装注浆管后采用低压慢注方式逐步升压，当吸浆量小于0.5升每分钟且压力保持稳定时终止注浆，最后用快凝水泥封堵注浆孔。

2.3 特殊部位防水技术

施工缝防水需遵循“留置合理、处理到位”原则。垂直施工缝应避开地下水位较高区域，水平施工缝宜设置在结构受力较小部位。处理时先凿除表面浮浆，涂刷水泥基渗透结晶型涂料增强界面粘结力，再铺设3毫米厚止水钢板或遇水膨胀止水条，形成多道防线。变形缝防水需兼顾结构变形需求与防水完整性。伸缩缝采用可压缩性强的橡胶止水带，沉降缝则需配置双组份聚硫密封胶与泡沫塑料板组合构造，允许两侧结构差异沉降而不破坏防水层。缝内设置排水管将渗漏水引至排水系统，避免积水导致止水材料失效。穿墙管防水需根据管径与安装方式选择处理方案。刚性套管安装时，管周填充膨胀混凝土并涂刷防水涂料；柔性套管则需在管与套管间填充聚硫密封胶，外层缠绕遇水膨胀止水条，形成柔性密封结构，适应管道振动与位移。

3 防水堵漏技术选型与实施要点

3.1 技术选型依据

渗漏部位与成因是技术选型的核心依据。坝体渗漏若因混凝土裂缝导致，宜采用注浆堵漏与表面涂层复合技术；若为土石坝填筑质量缺陷引发，则需通过高压旋喷桩加固坝基并增设防渗墙^[3]。工程结构形式直接影响技术适用性，重力坝因体积庞大，渗漏处理需优先选择注浆法实现深层封堵；拱坝应力分布复杂，需采用柔性防水材料适应结构变形。建筑材料特性同样关键，混凝土结构可利用自防水增强技术，而土石坝则需依赖外部防渗体系构建。环境条件与施工条件共同制约技术可行性。寒冷地区需选用耐低温防水材料，避免低温脆裂导致失效；潮湿环境应采用快凝型注浆材料，缩短施工周期。施工空间狭小时，设备选型需兼顾小型化与高效性，如采用手持式注浆泵完成狭窄部位作业；地质条件复杂区域，需提前进行地质勘探，调整钻孔深度与角度以避免岩层破碎带。

3.2 实施过程中的关键点

施工前准备工作需全面细致。现场勘察应采用无损检测技术定位渗漏通道,结合水位监测数据判断渗漏量变化趋势。施工方案编制需明确技术参数与工艺标准,组织参建单位进行多轮技术论证。材料进场时需核验质量证明文件,对防水涂料进行粘结强度测试,对注浆材料开展流动性试验,确保性能指标符合设计要求。施工过程质量控制需贯穿始终。涂层防水施工时,基层处理需达到平整度误差小于3毫米的标准,涂刷方向应与水流方向一致,每遍涂刷间隔时间根据环境温度动态调整。注浆作业需严格控制注浆压力梯度,初始压力设定为0.2兆帕,根据吸浆量逐步升压至0.5兆帕,当邻孔出现冒浆时立即停止并封堵。关键工序实施旁站监督,对止水带安装位置偏差、卷材搭接宽度不足等问题及时整改。施工后养护与监测需形成长效机制。混凝土结构养护阶段需保持表面湿润14天以上,土石坝防渗墙养护期应避免重型机械碾压。建立渗漏监测数据库,每月记录渗漏量变化,每季度采用红外热成像技术检测隐蔽部位,发现异常立即启动应急处理预案,确保工程安全运行。

4 水利工程防水堵漏技术发展趋势

4.1 新型防水堵漏材料的研发与应用

高性能环保型防水涂料成为研发重点^[4]。通过纳米改性技术提升涂料致密性,使抗渗等级突破2.0兆帕,同时引入生物基原料降低挥发性有机物含量,满足室内外双重环境使用标准。材料耐久性显著增强,在紫外线辐射与冻融循环交替作用下仍能保持10年以上有效防渗性能,减少后期维护频次。新型注浆材料向功能复合化方向发展。化学浆液通过分子结构设计实现固化时间精准调控,最短可在30秒内完成凝胶,最长可延迟至72小时,适应不同渗漏场景需求。浆液结石体强度提升至30兆帕以上,且具备抗冲刷、耐腐蚀特性,在动水环境下仍能保持稳定封堵效果。生物基注浆材料的出现,为地下水源保护区工程提供环保解决方案。智能型防水材料开启主动防御新阶段。形状记忆聚合物与微胶囊修复技术的结合,使材料在出现裂缝时自动释放修复剂,完成裂缝自愈。光纤传感技术的嵌入,赋予材料渗漏感知能力,通过光信号变化实时反馈渗漏位置与程度,为预防性维护提供数据支撑。

4.2 智能化施工技术的引入

智能化监测设备在防水堵漏施工中的应用日益广泛。依托各类高精度传感器实现渗漏情况、注浆压力等关键参数的实时监测,数据通过无线传输系统同步至控

制终端,为施工决策提供精准数据支撑。通过实时掌握施工过程中的参数变化,可及时调整施工工艺,避免因参数偏差导致的防水质量问题,提升施工精准度。自动化施工设备的发展加速推动防水堵漏施工模式升级。针对注浆、涂层喷涂等核心施工环节,自动化设备实现施工过程的全程自动控制,通过预设施工参数与智能调节系统,确保施工层厚度均匀、注浆量精准,减少人为操作带来的质量波动。自动化设备的应用同时提升施工效率,降低高强度作业对施工进度影响,适配大规模水利工程的施工需求。

4.3 绿色防水堵漏理念的深化

减少施工过程对环境的影响成为防水堵漏技术发展的重要导向。通过采用低污染、低能耗的施工工艺和材料,从源头控制施工过程中的废气、废水与噪声排放。施工方案设计中注重优化施工流程,减少施工环节对周边生态环境的扰动,实现工程施工与生态保护的协调推进。资源循环利用与可持续发展理念逐步融入防水堵漏技术体系^[5]。行业内积极推广可回收利用的防水材料,通过材料回收加工技术实现废旧防水卷材、涂料等材料的二次利用,降低资源浪费。施工废弃物处理技术不断完善,通过分类处理、无害化处置与资源化回收等方式,提升废弃物利用效率,减少固体废弃物对环境的压力,推动水利工程防水堵漏领域的可持续发展。

结束语

水利工程防水堵漏技术不断进步,新型材料、智能化施工与绿色理念为解决渗漏问题提供新方向。高性能环保材料提升防水性能与耐久性,智能化技术保障施工精准高效,绿色理念促进生态保护与资源循环。持续创新与应用这些技术,能有效提升水利工程防水堵漏水平,保障工程安全稳定运行,推动水利事业高质量发展,为经济社会进步提供坚实支撑。

参考文献

- [1]马江林.水利工程技术中的防水堵漏技术运用研究[J].水上安全,2024(4):31-33.
- [2]孙燕军.水利工程技术中的防水堵漏技术[J].中国航班,2022(17):182-185.
- [3]苏鸿波.水利工程技术中的防水堵漏技术要点探讨[J].现代物业,2023(23):196-198.
- [4]陈星.水利工程技术中的防水堵漏技术探究[J].大众科学,2024,45(3):74-76.
- [5]张旭林.水利工程中的防水堵漏技术分析[J].科技资讯,2025,23(6):157-159.